

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 1 C 19/56		G 0 1 C 19/56	2 F 1 0 5
G 0 1 P 9/04		G 0 1 P 9/04	4 M 1 1 2
H 0 1 L 29/84		H 0 1 L 29/84	Z

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 47 頁)

(21)出願番号 特願2001-523598(P2001-523598)  
 (86)(22)出願日 平成12年9月13日(2000.9.13)  
 (85)翻訳文提出日 平成14年3月15日(2002.3.15)  
 (86)国際出願番号 P C T / U S 0 0 / 2 5 0 2 9  
 (87)国際公開番号 W O 0 1 / 0 2 0 2 5 9  
 (87)国際公開日 平成13年3月22日(2001.3.22)  
 (31)優先権主張番号 6 0 / 1 5 4 , 6 3 1  
 (32)優先日 平成11年9月17日(1999.9.17)  
 (33)優先権主張国 米国 ( U S )

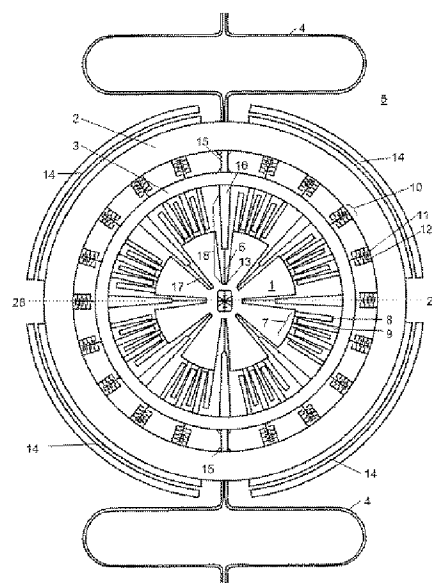
(71)出願人 キオニックス インク  
 アメリカ合衆国 ニューヨーク 14850  
 イサカ ソーンウッド・ドライブ22  
 (72)発明者 ジー スコット アダムス  
 アメリカ合州国 ニューヨーク 14850  
 イサカ ミッチェル・ストリート413  
 (72)発明者 ジェームス グローブス  
 アメリカ合州国 ニューヨーク 13760  
 エンディコット イースト・キャンピ  
 レ・ロード187  
 (74)代理人 弁理士 清原 義博

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電気分離式マイクロ機械ジャイロスコープ

## (57)【要約】

分離式ドライブ及び感知振動機並びに減少された交差軸の感度を持つ振動性ジャイロスコープを詳述する。該ジャイロスコープは、標準シリコン・ウェハに関するプラズマ・マイクロ機械工程を用いて作られる。同じマイクロ機械要素内に含まれる、ドライブの電氣的絶縁およびジャイロスコープの感知機能は、高内部容量および高感度を得る間に交差結合を減少させる。



**【特許請求の範囲】**

**【請求項1】** 基板、並びに

出力軸（45）に関するねじれ振動に対してTSM（3）の動きを略制限し湾曲部（18）により該基板（1）に設けられるトルク集約部材（TSM）（3）、及びスピンドル軸（43）に関するねじれ振動に対してRDM（2）の動きを略制限し湾曲部（18）により該TSM（3）に設けられるローター駆動部材（RDM）（2）、からなり、TSM（3）の動きを感知するための変換器（33）及び（35）を形成する複数の電氣的絶縁領域を持ちRDM（2）の動きを駆動する移動可能本体、から構成されるシリコン角速度ジャイロスコープ。

**【請求項2】** アクチュエーター（10）の第1セクション（11）とアクチュエーター（10）の第2セクション（12）の間に電圧を印加することによりRDM（2）の動きを駆動できるように、第1セクション（11）がTSM（3）上に備えられかつ第2セクション（12）がRDM（2）上に備えられ、第1セクション（11）と第2セクション（12）のうち少なくとも1つがシリコン領域から電氣的に絶縁される、2つのセクションを持つアクチュエーター（10）からさらになる請求項1のジャイロスコープ。

**【請求項3】** RDM（2）の動きを容量性センサー（14）の静電容量の変化により感知できるように、第1セクション（41）がRDM（2）上に備えられかつ第2セクション（42）がTSM（3）上に備えられ、第1セクション（41）と第2セクション（42）のうち少なくとも1つがシリコン領域から電氣的に絶縁される、2つのセクションを持つ容量性センサー（14）からさらになる請求項1のジャイロスコープ。

**【請求項4】** TSM（3）の動きを容量性センサー（7）の静電容量の変化により感知できるように、第1セクション（9）がTSM（3）上に備えられかつ第2セクション（8）が基板（1）上に備えられ、第1セクション（9）と第2セクション（8）のうち少なくとも1つがシリコン領域から電氣的に絶縁される、2つのセクションを持つ容量性TSMセンサー（7）からさらになる請求項1のジャイロスコープ。

【請求項5】 TSMの動きに比例する信号内へのTSMセンサーにより感知されたTSM振動を復調する電子回路からさらになる請求項4のジャイロスコープ。

【請求項6】 RDM(2)の動きをセンサー(14)の静電容量の変化により感知することができかつセンサー(14)の静電容量がTSM(3)の小さな動きに対して無感応であるように、第1セクション(41)がRDM(2)上に備えられかつ第2セクション(42)が基板(5)上に備えられ、第1セクション(41)と第2セクション(42)のうち少なくとも1つがシリコン領域から電気的に絶縁される、2つのセクションを持つ容量性RDMセンサー(14)からさらになる請求項1のジャイロスコープ。

【請求項7】 基板が凹部を持ち、RDM(2)及びTSM(3)が該凹部を中心に対称構造である請求項1のジャイロスコープ。

【請求項8】 TSM(3)がRDM(2)の内側にあることを特徴とする請求項7のジャイロスコープ。

【請求項9】 RDM(2)がTSM(3)の内側にあることを特徴とする請求項7のジャイロスコープ。

【請求項10】 電気信号をジャイロスコープの中に及び外に送ることができるように、本体を基板に機械的に付ける複数の可撓性の電気リード(4)からさらになる請求項7のジャイロスコープ。

【請求項11】 基板が中央突起を有するリング状の凹部を持ち、TSM(3)及びRDM(3)が、該中央突起の周りで該凹部を中心に配されるリングの形状である請求項1のジャイロスコープ。

【請求項12】 本体を中央突起に接続する複数の内部の湾曲部(15)及び(18)からさらになる請求項11のジャイロスコープ。

【請求項13】 スピン軸(43)及び入力軸(44)に対してRDM(2)の慣性のバランスをとるためにRDM(2)上に備えられた複数の構造体からさらになる請求項1のジャイロスコープ。

【請求項14】 基板が平面を形成し、出力軸(45)が該平面に向くことを特徴とする請求項1のジャイロスコープ。

【請求項15】 基板が平面を形成し、入力軸（44）が該平面に向くことを特徴とする請求項1のジャイロ스코プ。

【請求項16】 基板が平面を形成し、スピン軸（43）が該平面に向くことを特徴とする請求項1のジャイロ스코プ。

【請求項17】 TSM（2）に備えられる湾曲部（18）が厚いセクション及び薄いセクションを構成し、この厚いセクション及び薄いセクションの相対的な寸法が軸の応力状態および湾曲部（18）の剛性を決めるために選択されることを特徴とする請求項1のジャイロ스코プ。

【請求項18】 シリコンの電氣的絶縁領域が、機械的に接続されるがシリコンの絶縁領域を電氣的に絶縁する絶縁材料で形成されるジョイント（115）によって分離されることを特徴とする請求項1のジャイロ스코プ。

【請求項19】 RDM（2）が、高縦横比のシリコン・ビームの配列からなる開放多孔性構造体から形成される請求項1のジャイロ스코プ。

【請求項20】 TSM（3）が、高縦横比のシリコン・ビームの配列からなる開放多孔性構造体から形成される請求項1のジャイロ스코プ。

【請求項21】 a）TSM（3）の動きを感知するための少なくとも1つの電氣的絶縁領域を含む少なくとも1つのTSMセンサー（7）、

b）RDM（2）の動きを感知するための少なくとも1つの電氣的絶縁領域を含む少なくとも1つのRDMセンサー（14）、

c）RDM（2）に静電気力を適用するための少なくとも1つの電氣的絶縁領域を含む少なくとも1つのRDMアクチュエーター（10）、並びに、

d）1）少なくとも1つのTSMセンサー（7）及び少なくとも1つのRDMセンサー（14）に結合されたキャリアー信号出力を持つ振動器、

2）入力からの信号を処理しかつTSM（3）の動きに比例する出力での信号を作り出すTSM回路であり、振動器により駆動するTSMセンサー（7）に結合した入力、及び出力を持つTSM感知回路、

3）入力からの信号を処理しかつRDM（2）の動きに比例する出力での信号を作り出すRDM回路であり、振動器により駆動するRDMセンサー（14）に結合した入力、及び出力を持つRDM感知回路、

4) 第1入力からの信号と第2入力からの信号を組み合わせかつジャイロスコープの移動の速度を表す出力での出力信号を提供する、TSM感知回路の出力に結合した第1入力およびRDM感知回路の出力に結合した第2入力、及び出力を持つ速度決定回路、並びに

5) 入力での信号からのフィードバックによって修正された出力での信号の発生によりRDMの共振を維持する、RDM感知回路の出力に結合した入力および少なくとも1つのRDMアクチュエーター(10)に結合した出力を持つRDM駆動回路、

を含む信号処理回路、

をさらに含む請求項1のジャイロスコープ。

【請求項22】 速度決定回路が、

a) RDM感知回路の出力に結合した入力および入力の現在信号から約90度位相を変換した信号を提供する出力を持つ相調整器(61)、

b) TSM感知回路の出力に結合した第1入力、相調整器の出力に結合した第2入力および第1入力および第2入力の信号の生成物である信号を提供する出力を持つ乗算機、及び

c) ローパスフィルター(68)の出力が速度決定回路の出力であり、乗算機の出力に結合した入力および低周波信号を持つ出力を有するローパスフィルター(68)、

を含む請求項21のジャイロスコープ。

【請求項23】 RDM駆動回路が、

a) RDM感知回路の出力に結合した入力および出力を持つ90度相変換器(61)、

b) 電圧リミッターの出力がDCの電位との接合の集約ジャンクションを通したRDM静電気浮揚アクチュエーター(10)に結合し、90度相変換器(61)の出力に結合した入力および出力を持つ電圧リミッター(60)、

を含む請求項21のジャイロスコープ。

【請求項24】 バイアス入力でのDCバイアス電圧が、RDM(2)の共振周波数を調整するRDMアクチュエーターにDCバイアス電圧を印加するように

、RDM駆動回路がさらにバイアス入力を含む請求項21のジャイロスコープ。

【請求項25】 信号処理回路が集積回路の形態である請求項21のジャイロスコープ。

【請求項26】 移動可能本体を含む第1基板が、シール及びガラス・フリットにより備えられた第1と第2基板の間の埋め合わせと共に第2基板で覆われている請求項25のジャイロスコープ。

【請求項27】 集積回路並びに第1及び第2基板が共に1つのハイブリッド・パッケージに詰められている請求項26のジャイロスコープ。

【請求項28】 移動可能本体を含む第1基板が、シール及びガラス・フリットにより備えられた第1と第2基板の間の埋め合わせと共に第2基板で覆われている請求項1のジャイロスコープ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(関連する出願への言及)

本発明は1999年9月17日出願、仮出願番号第60/154,631の「電気分離式マイクロ機械ジャイロスコープ」の発明を主張する。米国仮出願の35 USCセクション119(e)の利点が主張され、前記出願は本文中で参照として取り入れられる。

【0002】

(発明の背景)

現在、低コストかつ信頼できるジャイロスコープの開発に少なからぬ関心を持たれ、研究者はこの挑戦に合う数多くの解決法を提案してきた。伝統的な軍事規格のジャイロスコープ形成技術は大量生産又は低い製造費用で計測できない。マイクロ電気機械システム(MEMS)の分野ではマイクロ機械システムを製造するために半導体形成技術を利用し、低コスト慣性感知システムの製造モデルを提供する。多くの研究者が多数のデザイン及び形成手段を用いたMEMSジャイロスコープデザインを追及してきた。

【0003】

しかしながら、小型のジャイロスコープはシリコンを基礎とした要素の組み立て及び集合体の制限に関する非常に多くの技術的な障害がある。障害の中には小さい慣性集合、マイクロ感知信号及び大量包装手段が含まれる。電気結合を減らすため、複雑な回路技術が駆動及び感知信号を分離する技術を発展させてきた。より多くの角運動量を提供するため、研究者は専門的な駆動手段を開発した。感知信号を増やすため、反響調和及び高Q発振器は効果的にシステムの出力を上げる。しかしながら、大量生産が可能な単一装置で多くの作動パラメーターを得ることは難しかった。

【0004】

本文中で提供されるのは従来技術における多くの固有の困難さを解決する、より良く連続して製造することが可能な高性能装置を創り出すためのシリコン・ジャイロスコープである。ジャイロスコープは大量に装置を形成するための特別な

材料又は包装を必要としない。

装置及び感知発振器の同時の機械及び電気分離によって、複雑な信号処理及び発振器の出力のための必要条件は軽減する。特許化された形成技術は独特の特徴をジャイロ스코ープに与え、ジャイロ스코ープの性能を調整する幅広くデザインされたウィンドーの使用を可能とする。

#### 【0005】

本発明のジャイロ스코ープは駆動及び感知発振器を電氣的及び機械的に分離する点で従来技術と違う。また、本発明のジャイロ스코ープは全ての電気駆動及び感知信号が、外装へ電気信号を送信するための基板あるいは埋め込まれた電極に左右されず、リリースMEMS要素へ直接統合される点が独特である。

このことは電子機器のデザインを容易にし、困難な処理及び配列段階を取り除き、さらには大量生産のための工業基準包装解決手段を可能とする。

#### 【0006】

マイクロ機械化ジャイロ스코ープは通常、摩擦がミクロン幅となる障害のため回転部材より振動部材が用いられる。多くのジャイロ스코ープは角速度を変換させるための単一反響部材の複雑な動きに依存する。例えば米国特許第5,349,855（バーンSTEIN（Bernstein）等）及び第5,992,233（クラーク（Clerk）等）の分岐のデザインの調整において、ジャイロスコープトルクをかけた時、マイクロ機械装置は平坦な場所で反響し、複雑な振動を受ける。

角速度は多重電極構造、複雑な振動モード及び巧みな信号処理を用いて解かれる。それにも関わらず、これら配列における困難さは感知部材での駆動部材の固有の機械結合である。すなわち、単一機械反響構造は出力電子機器において、高位相信号で明確となった、高いレベルでの電気機械混線をもたらす。

#### 【0007】

駆動及び感知のための機械振動の本質的な分離は振動機械要素の使用を通して達成される。米国特許第5,555,765（グリフ（Greiff））及び第5,955,668（フス（Hsu）等）において、単一機械部材は相対的な回転駆動電極を用いて振動する。連続して起こるジャイロ스코ープの動きはコリオ



りの力を2番目の別個の回転モードへ伝導する。両方の特許において、この感知モードはマイクロ機械構造の下方に埋め込まれた電極を用いて変換される。

機械的複雑さは著しく減少するが、これら装置はマルチレベル処理を必要とし、全体の感知を減少する、薄いフィルム物質の形成を典型的に制限する。分離機械デザインのその他の実行は、ゲイガー (G e i g e r) 等の「分離振動モードでのマイクロ機械振動速度ジャイロスコープの新しいデザイン」で明らかとなる。また、振動回転部材はジャイロを活発にするため利用できるが、埋め込まれた電極は出力振動を変換することが必要である。

これら全ての平坦な振動ジャイロスコープはそれぞれが違った軸に沿ったジャイロスコープの入力に感知する、相当数の相対的配置へ配列することが可能である。回転振動ジャイロスコープの直角モードはカードレリー (C a r d a r e l l i) 等による米国特許第5, 915, 275に詳述されている。

#### 【0008】

従来技術には、しかしながらリリース機械構造体同様、駆動及び感知信号を電氣的に分離する減結合機械作動を取り入れた物はない。そのような装置は実質的に電氣的及び機械的な交差結合を減少し、出力信号の質を改善し、電気精密さの伝導又は困難な信号処理を必要とすることを減少する性能を持つ。より良く製造可能なシリコンMENS工程において、そのような装置を提供することが本発明の目的である。

#### 【0009】

(発明の要約)

本発明は電氣的及び機械的に減結合するマイクロ機械平面振動ジャイロスコープである。電気減結合は機械接続された1つの構造体で多重電気分離領域を構成する性能に関係する。機械減結合は駆動及び感知機能の物理モード分離とみなされる。

減結合のこれら2つの形態は電気—機械混線、ゼロレート出力の原因及び温度の上昇となるゼロレート出力を減少する。更に電気減結合は感知電子機器を非常に単純にする。

#### 【0010】

本発明のジャイロスコープは単一結晶シリコンを基にした形成技術で形成される。ドライエッチ工程は高一面一比率構造体が彫刻された規準シリコンウェハーで始まる。装置深度が $10 \sim 50 \mu\text{m}$ で圧力のないシリコン物質での工程の高一面一比率の本質は、慣性感知に理想的な寸法が数ミリ（mm）の大きい平面構造の創造にそれ自体役に立つ。

大きい構造は熱機械ノイズを減少させ、装置の感知力を改善するための大きい静電容量を得るために不可欠である。工程で形成されたシリコンビーム構造体は広範囲に渡るジャイロスコープの適正な作動に調整することが可能であり、深いシリコンエッチングに固有の集合体は大きさの程度によって達成できる解決方法を改善する。

#### 【0011】

本発明は機械減結合及び機械分離を改善するための独特の電気接続、交差、アクチュエーター搭載手段に影響する。ジャイロスコープは機械部材を周りから、カプセルに包み、保護することを可能とする柔軟な電気リード手段で外部の金属トレース及び拘束パッドに接続する。ジャイロスコープそれ自体において、金属の層の1つは全ての電極を送信するために用いられ、新しい交差構造は解放された金属要素の中へ取り入れられる。

ジャイロスコープ中の、この任意の電気送信の性能は感知蓄電器及び促進した性能の良いアクチュエーターの効率性の違った測定を可能とする。デザインのこの分割は駆動と感知機能間の混線を著しく減少する。

#### 【0012】

本発明は振動の駆動及び感知頻度を越えた分離によって振動及び温度を超えてシステム全体の安定性を維持するための自由なデザインを提供する。また、ジャイロスコープは高価なゲッターあるいは真空管部品を必要としない標準のシール材料を用いた大きくない真空管で作動することができる。解決法によって表される安定性は工場規格のプラスチック及び温度範囲を超えた自動水準の作動で包装するのに十分である。

#### 【0013】

電気及び機械接合の減少のため、ジャイロスコープによって必要とされる回路

機能は分離したアナログ部品あるいは交換蓄電器統合回路へ取り込みやすい。回路機能は活性部材を駆動し、振幅を管理し、性能の良い電極で感知部材を見つけるため減少する。

#### 【0014】

ジャイロ스코ープの多重構成は違った構成を収容するための駆動、感知及び入力軸の再構成によって可能である。更には、このことは単一包装あるいは自由速度の最大3段階の感知ユニット内の多重軸構成を可能とする。

#### 【0015】

(発明の詳細な説明)

図1, 11a, 11b及び12を参照すると、本発明はシリコンウェハー上にて微小製作される平面振動ジャイロ스코ープである。

#### 【0016】

ジャイロ스코ープの構成要素と作用の概要

ジャイロ스코ープは、同心的に配置された、外側シリコン基板又はケース(5)、ローター駆動部材(RDM)と呼ばれる駆動部材(2)、トルク集約部材(TSM)と呼ばれる感知要素(3)及び内側シリコン基板ケース(1)から構成される(内側及び外側ケースは同じシリコンウェハーの一部である)。RDM(2)及びTSM(3)は、“ドーナツ状穴”を形成する内側ケース(1)及び“ドーナツ”を囲う外側ケース(5)と共に、以下に述べるように、基板内の“ドーナツ形状の”窪み内に設けられる。

#### 【0017】

RDM(2)は環状のリング形状であり、RDMねじり湾曲部(15)と共にTSM(3)に対して撓曲可能に配設されている。RDM湾曲部はねじりに従順であり、RDM湾曲部(15)の方向性により定義されるスピン軸(43)に関する動きを許容する。RDM湾曲部は、全ての他の軸に関するTSM(3)に関連する動き、回転及び平行移動を拒絶する。RDM湾曲部(15)はまた図3に示されている。RDMはスピン軸(43)に関する角度内において正弦曲線的に振動するために駆動される。好ましくは、RDMは、RDMの動きの振幅を最大化するためにその共振周波数で駆動される。RDM振動はジャイロの角運動量を

確立する。

#### 【0018】

TSM(3)もまた環状のリング形状であり、その結果、(18)として通常示されているTSM湾曲部と共に内側ケース(1)に対して撓曲可能に配設されている。湾曲部の半径方向の配置及び湾曲部をつくるために使用されるビームの高縦横比により、TSMの動きは出力軸(45)として参照される平面の外に向く回転軸に関して制限される。出力軸に関する回転以外の動きを拒絶するTSMを有することは重要である。さもなければ、軸から外れた入力速度、線形加速入力及びRDMの動きが、ジャイロ스코ープの出力に結びつき、センサーの出力を駄目にするであろう。

#### 【0019】

図11a, 11b及び12に示される形状において、ジャイロ스코ープは入力軸(44)に関する回転速度に敏感に設計されている。ジャイロ스코ープケースが静止した時及びジャイロ스코ープが作動中の時、RDMは後述するサポート電気回路によりその共振周波数で駆動される。振動するRDMはジャイロ스코ープの作動に対して必要な角運動量を与える。RDMをサポートするTSMは静止しているべきである。角運動量の保存のため、ジャイロ스코ープケースがこの入力軸に関して回転する時、出力軸(45)に関して振動するRDMは、相当する振動コリオリトルクをTSMに伝える。周期的なトルクは、TSMの振動を引き起こす。このTSMの動きの振幅は、回転速度に比例し、電子技術により測定されるべき出力の機械的信号として利用できる。TSMの動きを電気容量的に感知し、適当な振幅復調を実行することにより、入力軸に関する回転速度に比例する電気出力信号が得られる。

#### 【0020】

ジャイロ스코ープの構成要素の詳細な議論

RDM(2)は、好ましい実施形態ではRDM(2)とTSM(3)の間でRDM(2)の内側の円周の周りに位置するRDM駆動浮揚アクチュエーター(10)により、スピン軸に関してねじれ振動するために駆動される。これらのアクチュエーターは、対称的なくしの形をもつアクチュエーターである。図2bは、

好ましい実施形態のRDM駆動アクチュエーターの1つの拡大SEM写真を示している。写真及び図1の図面に見られるように、各アクチュエーター(10)は、一対のくし状セクションを構成しており、一方(12)はRDM(2)に配設され、他方(11)はTSM(3)に配設されている。それらは、ジャイロ스코プの平面内にて正味の力を生み出さない。それは単に出力軸(45)としても参照される平面外の方に浮揚力を生み出すのみである。図1の実施形態は、RDM湾曲部(15)により置き換えられた2つのアクチュエーター位置と共に、RDM(2)とTSM(3)の間の隙間の周りに等しく間隔をおいて配置された18個のそのようなアクチュエーター(10)を示している。図2cに参照される本発明の好ましい実施形態では、2つの更なるRDMアクチュエーターの位置が、ジャイロ스코プの慣性バランスのために、RDM湾曲部と類似形状の構造体により置き換えられている。構造体(19)は、慣性バランス構造体として参照される。RDM湾曲部(15)を結合する線の両側でアクチュエーターの対称的な組がある限り、RDM駆動アクチュエーター(10)の別の数が、本発明の教示の範囲内にて可能であろう。

#### 【0021】

複数のRDMアクチュエーターは2つのグループに分けられる。RDM湾曲部を結合する仮想線の一方側のRDMアクチュエーターが第1グループにあり、他方側のものが第2グループにある。各グループは、RDMアクチュエーターの半分として参照される。RDMの共振周波数で2つの半分に電圧が交互に印加されることにより、RDMは大きな振幅で振動するであろう。

#### 【0022】

本発明の1つの新規な特徴は、RDMアクチュエーター電極対(11)及び(12)を配設することである。文献中の殆どのアクチュエーターは、一方の電極が可動構造体に配設され、他方はケースに配設されている。本発明では、両電極は1つの機械的に接続された可動構造体であるRDMとTSMに配設されている。この配置はケースから動作を分離させる。TSMの動きは従って、RDMが配設されTSMと共に動くため、RDMの駆動にもはや影響を及ぼさない。要約すると、製造技術により与えられる電氣的絶縁は、TSMの感知動作とRDMの駆

動動作の電気機械的な分離に変換される。この分離は、實際上、ジャイロスコープの出力信号と混同する混信のもう1つの原因を除去する。

#### 【0023】

くし駆動或いは平行プレートのような別の静電気アクチュエーターが、用いられるジャイロスコープ配置に依存するRDMを駆動するために使用される。

RDM(2)の動きは、RDM(2)の外周及びケース(5)内の窪みの内周の周りの感知蓄電器(14)により感知される。図1は4つのそのような感知蓄電器(14)の使用を四分円で示している。もし望むならば、別の数の感知蓄電器を使用することができる。図4に詳述するように、各感知蓄電器(14)は、2つの同心の円弧状電極からなり、一方の電極(41)はRDM(2)に配設され、対向する電極(42)はケース(5)に配設されている。図4にはまた蓄電器(14)を絶縁する絶縁ジョイント(125)と(14)への電氣的接続を許容するバイアス(126)が示されている。この感知T蓄電器の幾何学的配列は、平面外の動きを感知する。RDMがスピン軸に関して回転したとき、この感知T蓄電器の対の一方の電極は平面外へと動き、他方の電極は固定されたままである。この相対的な動きは、電氣的に感知され、動きの測定に変換し得る電気容量の変化を生み出す。この設計の新規性は、もしRDMもまたTSMの回転を介して出力軸に関して回転するならば、平面外の動きの測定が影響を受けないことにある。このTSMの動きへの鈍感さの理由は、円弧形状の感知T蓄電器の回転の対称性に起因している。通常の作動中におけるTSMの回転が小さい限り、感知T蓄電器はTSMの回転に鈍感である。

#### 【0024】

2つの設計バリエーションがRDM感知T蓄電器について実行できる。この同心円弧の感知T蓄電器の一方の電極をTSM上に、他方をRDM上に配設することが可能である。電極のルートをつくる理由のため、この好ましい実施形態ではそうすることは選択していない。また、アクチュエーターが感知T蓄電器として使用され得るため、いくつかのRDMアクチュエーター(10)を感知T蓄電器として、いくつかをアクチュエーターとして使用することが可能である。そうする場合、その場合に関するTSMの動きから装置の動作を更に分離することによ

って、全ての場合が除去される。さらに、逆もまた真実なので、感知T蓄電器はアクチュエーターとして使用でき、RDMセンサー（14）についての同心円弧の設計はアクチュエーターとして使用できる。

#### 【0025】

図1を参照すると、好ましいTSM湾曲部は、TSM（3）に配設されるより大きな外側セクションをもち、固定点（13）で内側ケース（1）に付着される薄い内側セクション（6）に向けて先細りになる構造体を有する。図1に見られるように、内側ケース（1）は、TSM湾曲部（16）及び（6）が適合する範囲内の半径方向溝（17）と共に、半径方向溝（17）の最も内部の点で固定点（13）と共に、形成されることが好ましい。より大きな外側セクション（16）、内側セクション（6）及び半径方向溝（17）は、必要な可撓性を許すためにTSM湾曲部の十分な長さと同様な配置を許容する。

#### 【0026】

好ましい実施形態では、出力軸に関するTSMの湾曲部の曲げ剛性は、ビームの曲げ剛性のため部分的であり、ビームの複合的性質により導入される軸剛性のため部分的である。製造の間、シリコンビームの上に酸化物層が被覆されるか又は成長させられる。装置の製造温度と動作温度の間の温度の差異がある。ビームは異なる熱膨張係数をもつ複合材料から構成されるので、いくらかの正味の軸応力が残留する。この軸応力は、出力軸に関してTSMの全体の剛性にはっきりと寄与する引っ張り応力としてTSM湾曲部に現れる。基板に関するTSMの配置とTSM湾曲部の位置が、TSM湾曲部が引っ張られることを決定する。他の配置を使用すると、TSM湾曲部は曲がって折れることを引き起こす圧縮状態となる。

#### 【0027】

TSM（3）の動きを感知するために使用される蓄電器（7）は、平行なプレート組の形態で、TSM（3）と内側ケース（1）の間の環状隙間に半径方向に配置される。センサーの一方のプレートの組（8）は基板（1）に付着され、他の組（9）はTSM（3）に付着される。絶縁ジョイント（127）は、周囲を囲むシリコンから蓄電器（7）を電気的に絶縁している。図5に詳細に示され

るように、センサーアームは2つの隙間を有しており、一つは大きく（31）、一つは小さい（30）。感知は、小さい隙間（30）を横切ってプレート（8）と（9）の間でなされる。この配置において、大きい隙間（31）は、動きに伴う正味の静電容量の変化を生じさせるために必要とされる。図5は、動きを感知するために使用される総数のうちのほんの少数を示している。

#### 【0028】

図1はジャイロスコープを半分に分ける線（28）を示す。線（28）の側においてTSM蓄電器（7）はTSMが陽性方向の出力軸に関して回転する一方、静電容量の増加を引き起こすように配設される。線（28）の片方においてTSM蓄電器（7）はTSMが陽性方向の出力軸に関して回転する時、静電容量の減少を引き起こすように配設される。線（28）の各々の側面のTSM蓄電器（7）全ての累積量の違いを認識することによって、その動きの差異静電容量測定が行われる。測定を促進するために、線（28）の特定の側面全てのTSM感知蓄電器（7）は平行に接続される。

#### 【0029】

一般に、同じ機能を行う感知蓄電器とアクチュエーター蓄電器は並列接続される。このことはRDM駆動蓄電器、RDM感知蓄電器、及びTSM感知蓄電器に対して有効である。後で、ジャイロスコープ電子機器の説明において、STM感知蓄電器は2つの半分を持つとして言及される。これら2つの半分は線（28）の各々の側面上のTSM感知蓄電器の並列接続に関する。1つの半分はTSMの陽性回転を備えたその静電容量を増加し、他方は減少する。2つの間で差異測定が電気回路の明細図によって行われる。

#### 【0030】

絶縁技術を使って、線（28）によって分けられたジャイロスコープの2つの半分の間より小さい規模で差異測定を行う構造にSTM感覚蓄電器を挟むことは同じく可能である。差異測定がそれぞれのプレート（9）の右回り、そして左回りの側面の間にされるように、電氣的に蓄電器プレート（8）を2つの別個のプレートに電氣的に分けることは可能である。この修正において、差異動作が測定されるレベルを増やすことによって、直線上の加速信号に対するジャイロスコー



ブの抵抗は増やされる。

#### 【0031】

シリコン鑄型の外側の端に沿った結合パッドから、ジャイロスコープへ連結するために可撓性リード（４）といわれる可撓電極は望ましく使用される。ジャイロスコープの前の形では、結合パッドはケース（１）の領域に位置され、ワイヤーは装置の残りに電気連結を作るためにTSM湾曲部（１８）に沿わされていた。その装置を密閉するために、電気リードはジャイロスコープの外側に通す必要がある。本発明において、可撓性リード（４）は特別な加工過程や出発物質のような特殊化したウェーハを必要とすることなしでこの機能を提供する。これらの可撓性リードの例は図１、４、及び図２aと図２cのSEM写真に示される。示される例において、金属は可撓性リードを形成するシリコン光線の頂上にそって通す。1000nmの他の上の絶縁層が厚くシリコンと金属を分離する。可撓性リードの大きいループ設計はRDMとTSMの動きに対して与えられる堅さを減少する。この設計の変化はシリコンを可撓性リードで電気伝導体として用いることである。可撓性リードの実際の形は機能ほど重要ではない。機能はジャイロスコープとケース（５）に位置しているワイヤー接合パッドの間の可撓電気結合を提供することである。

#### 【0032】

可撓性リードはセンサーエレメントが保護され、従って包装や作動の間、環境から保護され、好ましくは、そのセンサーはフリットガラスシールを備えたエレメント土台に接合したシリコンのふたを用いて保護される。

#### 【0033】

図２aから図２dは発明の説明により造られた実際の走査型電子顕微鏡写真である。図２b、２c及び２dは様々な尺度のクローズアップを示す。すなわち尺度クローズアップによって覆われたおよその場所が図２aの全体風景のダッシュラインで図示される。

#### 【0034】

これらの写真はジャイロスコープで使われた開いたセル構造を示す。シリコンビームは1-2 $\mu$ m幅で10-50 $\mu$ m深さである。リリースエッチングは時間

を測定されるので、より広範囲のビーム構造が完全に切り落とされないで基板に存在し、支持構造体や相互接続表面として用いられる。リリースされたビームはジャイロ스코ープの機械部分に連結される。ジャイロ스코ープに電気結合を送るよう設計された可撓性リードは同じ製造過程で統合される。

#### 【0035】

ジャイロ스코ープに関する電氣的ルート付け

このジャイロ스코ープ設計のいくつかの目印となる特徴は、電氣的のルート付けと静電氣操作と感知蓄電器の関連である。このルート付けを可能にすることは移動可能なシリコンの絶縁領域の方法である。下に製造の部分で記述されるように、ジャイロ스코ープは本質的に1つの伝導性のシリコンから切り出される。静電氣的のドライブと感知蓄電器のすべてがこのシリコンから作られるので、シリコン領域を絶縁するために追加のステップをとらない限り、電極のすべてが一緒にショートさせられる。以下に記述された絶縁部分はシリコンの領域の絶縁を必要とする。これらの部分は他のシリコンジャイロ스코ープ設計、すなわち、移動可能なシリコンの1つの上に多数の電極を形成する能力に存在していない機能性を供給する。

#### 【0036】

他のシリコンジャイロ스코ープにおいて、移動可能な構造体は1つの電位において全てである。これはRDM容量変換器の交配電極、すなわちセンサーあるいはアクチュエーターがケースに備えられなければならないことを意味する。移動可能なシリコンの領域を絶縁する能力は両方のRDM変換器の電極が移動可能な構造体、RDMの半分とTSMの半分に備えることができることを意味する。TSMがRDMを支持するので、従って駆動アクチュエーターの操作は出力軸についてTSMの動きから分離される。

#### 【0037】

他の研究者がTSMとRDMを備えた機械分離ジャイロ스코ープ設計をつくり出した。これらの既知の設計は、ケース（1）又は（5）に備えられた1つのアクチュエーター電極を備えたRDMを全て駆動する。これは潜在的にTSMの出力動きとRDMの入力動きの間の望ましくない結合の原因となり得る。発明の中

の望ましい解決はRDMアクチュエーター電極、すなわちTSMに関するものとRDMに関するものの前もって言及された配設である。1つの選択肢はたとえ1つの電極がケース（1）又は（5）に備えられるとしてもTSMの出力動きがRDMに適用できるRDMアクチュエーターの力に作用しないようにRDM駆動アクチュエーターを設計することである。この改良はRDM感知蓄電器（14）をアクチュエーターとして用いることによって、成し遂げられる。（14）の同心的なアーク設計は操作の間に典型的に経験された出力軸についての回転に影響されない。

#### 【0038】

本発明の中で、移動可能構造体の中で多数の領域を電氣的に絶縁する能力は、ジャイロスコープ信号を処理するために必要な回路設計における重要な関係がある。全部の移動可能構造体が1つの電位にある先行技術において、困難性は結合された電気信号を処理することに振りかかる。図13aは既知の設計との違いを例示する。3つの容量変換器が電子機器図の部分、すなわちTSM感知蓄電器（33）、RDM感知（34）、及びRDMドライブ（35）として示される。これらの3つの容量変換器は対応する電圧信号（36）、（37）、及び（38）によって測定されるか操作される。先行技術において、RDMとTSMは変換器（33）、（34）、及び（35）に対して1つの電極共通点を形成する。RDMとTSMによって形成されたこの共通の電極はジャンクション（39）として概略図に示される。それゆえ、電子機器は信号処理中に信号をばらばらに分割しなければならない。これは電圧信号（36）、（37）、及び（39）の周波数を十分に分離しつづけることによって達成される；しかしながら、それは好まれない。本発明は我々が、図13bに示されるように、信号を別々にしておくのを許す。別々のワイヤーが変換器（33）、（34）、及び（35）からジャイロスコープ電子機器まで走るので、電圧信号（36）、（37）、及び（38）は類似か、同じ周波数となり、それぞれの信号を分離している困難性を引き起こさない。

#### 【0039】

電気交差がシリコンの絶縁領域への接続を促進する。電気交差は移動可能な部

分RDMとTSMに備えられるのと同様に固定されたシリコン領域で共に使われる。固定されたシリコン領域での交差がワイヤーが結合パッドからドライブと感知電極まで送られる方法で柔軟性を提供する。移動可能なシリコン領域での交差は、RDMとTSMの中で電極のルート付けにおいて柔軟性を提供する。ある場合において、交差なしで必要な接続をすることは幾何学的に不可能だろう。固定された電気交差は、本発明の譲受人に譲渡されたアメリカ合衆国出願09/231,082に保護されている。移動可能な構造の交差は本発明の目的である。図14は移動可能な交差の例を示す。

#### 【0040】

異なった構造

図6aから6cに示されるようなジャイロスコープの3つの主要な構造がある。各々の簡略図はRDM(20)、TSM(21)、及びケース(22)、並びにスピン軸(23)、入力軸(24)、及び出力軸(25)を示す。これらの3つの図6a、6b、及び6cはジャイロスコープ設計の要約である。それらはジャイロスコープの実際の形とその部分の配列がジャイロスコープを作るまで広く変化することができる方法を示す。構造の間の類似性はそれらがすべてケース、RDM及びTSMを持つということである；すなわちそれらはすべて直角スピン、入力、及び出力軸を持ち；そしてそれらはすべてTSMと結びつくRDMと、ケースと結びつくTSMを持つ。1つの追加の類似点はすべて3つの構造は3つの軸について対称性を持つということである。この対称性はジャイロスコープを力学的に調和させるために必要である。違いはスピン、入力、及び出力軸の位置の方向である。人が疑うとおりに、3つの相互に直角の軸で、軸の2つがジャイロスコープの平面にあるとき3つの可能な組み合わせがある。構造はその時軸が平面外に向けられることによって定義される。6aにおいてスピン軸は平面外に向けられる。6bにおいて出力軸は平面外に向けられる。そして6cにおいて入力軸は平面外に向けられる。

#### 【0041】

図7は実行における2つの縦座標を示す。3つの軸(26)、(27)、及び(25)(スピン参照、入力参照、及び出力参照を示す)は慣性空間とSTM縦

座標フレームに対する3つの軸(23)、(24)、及び(25)(スピン、入力、出力軸を示す)に関係のあるジャイロケースに関する。軸(23)、(24)、及び(25)はTSMに結び付けられる。軸(23)、(24)、及び(25)は出力軸についてTSMのスピン角度と等しい回転の単一角度による(26)、(27)、及び(25)とは異なる。

#### 【0042】

RDM、TSM及びケースの形状はジャイロ스코プの構造を明らかにしない。その代わりにスピン、入力、出力軸がその構造を明らかにする。例えば、図6bのジャイロ스코プはTSM内部に長方形のRDMを持つ。しかしながら、図1から図5に説明される本発明のような同じ構造を持つ。両方の場合において、出力軸は平面外に向けられる。両方の場合において、RDMはTSMに結び付けられ、TSMはそのケースに結び付けられる。あるケースにおいてRDMは長方形であり、他のケースにおいてRDMが環形であるという事実は構造観点からは関係が無い。あるケースにおいてRDMがTSM内部にあり、他のケースにおいては外部にあるという点は構造観点からは関係が無い。両方のケースが同じ方法でジャイロ스코プとして機能して、そして従って同じ構造であると述べられる。より大きい出力信号を作り出すことによって、良い仕事をするかもしれないが、しかし機能上それらは同じである。

#### 【0043】

本発明は図6a、6b、及び6cで示される3つの構造のうちのどの1つのジャイロ스코プからも組み立てられることができる。望ましい実施例は、図1から図5に説明され示されるように、TSMの外部に位置するRDMをもつ図6の構造に関するバリエーションの1つである。

#### 【0044】

これらの構造のそれぞれは他の2つ以上の特定の利点を持っている。1つの例が入力軸の方向である。もし1つが回転の3つの軸全てを測るジャイロ스코プのモノリシックシステムを組み立てる必要があるなら、少なくとも2つの構造が必要とされ、そしてそれらのうちの1つは図6cに示される1つでなければならない。

#### 【0045】

対称性は3つの構造全てのジャイロ스코プの現実化において重要な特性である。多くの場合において対称性は交差軸回転率に対する感度を除く。1つの例は、図6bの構造が中心に対する平面において対称性を要求することである。対称性は軸(23)や入力(24)軸に対してTSM(21)の慣性を等しくする、すなわち交差軸回転率に対するジャイロ感度を除くためにそれらの差異を無にする。

#### 【0046】

##### 電子機器の設計

図8は、本発明のジャイロ스코プを駆動するために使用することができる電子機器の概略図である。電子機器は、TSM回転が駆動しないことがないように開ループモードでジャイロ스코プを操作する。しかしながら、RDMのために、その共振周波数で部材を振動させるフィードバック調節ループが存在する。

#### 【0047】

ジャイロ스코プのための電子機器は、RDMのためとTSMのための二つの経路に分割することができる。図8では、TSM経路は概略図の上半分を示されている。

#### 【0048】

ジャイロ스코プのための機械的な感知素子は、図8の点線ボックス内に概略的に含まれている。このボックスの上半分には、蓄電器 $C_{s1}$ 及び $C_{s2}$ が、TSMの回転を決定するために使用される半分の差動蓄電器の二つとして示されている。 $C_{s1}$ は、図1の線(28)より上部の全てのTSM感知蓄電器(7)の並列接続に相当する。 $C_{s2}$ は、線(28)より下部の全てのTSM感知蓄電器の並列接続に相当する。このボックスの下方には、蓄電器 $C_{d1}$ 及び $C_{d2}$ がRDMの動きを感知するために使用される。 $C_{d1}$ は、図1の二つのRDM捻れ湾曲部(15)を結ぶ仮想線の左部に位置する全てのRDM感知蓄電器(14)の並列接続に相当する。 $C_{d2}$ は仮想線の右部に位置する全てのRDM感知蓄電器の並列接続に相当する。 $C_{t1}$ 及び $C_{t2}$ はRDMにトルクを与えるためのアクチュエーターとして使用される。 $C_{t1}$ 及び $C_{t2}$ は、それぞれ図1の仮想線の

左部及び右部に位置する全てのRDMドライブアクチュエーター（10）の並列接続に相当する。

#### 【0049】

RDM及びTSMの動きを感知するための電子機器は、キャリアシステムに基づいている。概略図の左上端部に示される（51）は、100kHz、2.5Vピークピークキャリア（V<sub>carrier</sub>）の発生源である。キャリアはインバーター（52）で変換される。C<sub>s1</sub>及びC<sub>s2</sub>の直列接続と交差する、等しいしかし逆の高周波数キャリア電圧の配置によって、C<sub>s1</sub>及びC<sub>s2</sub>の不等性は、グラウンド電位を保ったとき、接続の中間点に流入又は流出する電流の正味の量に帰着する。C<sub>s1</sub>及びC<sub>s2</sub>間の相違に比例する振幅を備えた、キャリア一周波数における正弦波として、この電流の流れは、アンプ（56）の出力の信号を与えるためにOpアンプ（56）及びC<sub>f</sub>によって統合される。抵抗器R<sub>f</sub>はDC電圧の電位を決定するために使用される。次に、この差動キャリア信号はA<sub>s</sub>のゲインによって増幅される（57）。概略図の記号（57）は、増幅段階の集合であり、この集合体はA<sub>s</sub>のゲインによって信号を増幅する。TSMの動きに比例するような電圧信号を得るために、振幅変調されたキャリア信号は復調されることを必要とされる。キャリア（V<sub>carrier</sub>）によって増幅段階（57）から出力された信号と、低周波数信号、即ちTMSの回転に比例するV<sub>sm</sub>を抽出するためのローパスフィルター（63）によって得られた通過を乗算（62）することによって、この過程は実行される。通常の、ローパスフィルター（LPF）が遮断する周波数は、概ね10kHzに調整されている。

#### 【0050】

殆ど同一の電子機器の組を使用することによって、（アンプ（59）内のA<sub>d</sub>の係数によって増幅され、V<sub>carrier</sub>により乗算（64）され、そしてフィルター（65）される、C<sub>d1</sub>とC<sub>d2</sub>の差異に比例する振幅を有する信号を、Opアンプ（58）は出力する。）、RDMの動きに比例するような電圧信号V<sub>dm</sub>が生み出される。共振でRDMを維持するための復調参照及びフィードバック信号として、このRDM信号は使用される。

#### 【0051】

RDMの共振は、概略図の下部に示されるフィードバックループによって維持される。V<sub>d m</sub>を開始するためのRDMの動きの測定は、90度位相変換器(61)及び電圧リミッター(60)を通過する。電圧リミッターは管理された方法においてRDMの振動を制御する非線形を与える。この制限された信号は、最後には駆動蓄電器C<sub>t 1</sub>及びC<sub>t 2</sub>にフィードバックされる。RDMの一方の端を引き上げ、他方を引き下げることによってRDMに別々にトルクを与えることが望ましいから、制限された信号は、半分のRDM駆動であるC<sub>t 1</sub>のためのインバーター(53)を通過し、他の駆動であるC<sub>t 2</sub>のためのインバーターを通過しない。駆動信号を駆動蓄電器に供給するその前に、集約ジャンクション(54)及び(55)が、DC電圧レベルであるV<sub>l i n</sub>による振動信号を変換するために使用される。V<sub>l i n</sub>は静電的駆動の適した操作のために全ての電圧レベルをプラスに維持するために使用される。静電的アクチュエーターによって生み出されたトルクは、DC電圧レベルの変化無しに電圧の二乗に比例しているから、二つの正反対の位相の振動駆動信号は、等価で正反対のトルクを与え、そして一方の効果を打ち消す。DC電圧レベル変換は、トルクがRDMを駆動させることを確保する。

#### 【0052】

V<sub>l i n</sub>は、またRDMの共振周波数を調節するために使用することができる。RDM駆動電極に適用されるこのDCバイアスは、偏向に依存する力を生じる。この力勾配は静電的剛性として形成することができる。RDMのねじれ剛性の正味は、機械剛性と静電的剛性の総量である。DCバイアス値の調節によって、共振周波数が正味剛性の平方根に比例しているから、RDM共振はTMSの共振由来の特定の分離として調和することができる。

#### 【0053】

TSM信号であるV<sub>s m</sub>をジャイロスコープ速度出力信号に変換するために、もう一つのレベルの復調が必要とされる。ジャイロスコープ内における誤整列及び不完全に与えられる求積信号と同じく、V<sub>s m</sub>が速度入力情報を含むことに注意しなければならない。幸にも、求積信号は、約90度だけ速度信号から位相変換される。電子機器はこれを考慮し、そして乗法(66)が機能する前に、参照



信号である $V_{dm}$ の相(67)をちょうどよく変化させる。限界周波数が約50 Hzにセットされたローパスフィルター(68)によって生じる信号の通過の後、角速度出力に比例するジャイロスコープ出力電圧(速度出力)に達する。

#### 【0054】

RDMの機械共振周波数において、 $C_{t1}$ と $C_{t2}$ 内の信号駆動及び $C_{d1}$ 及び $C_{d2}$ 間の差異の感知間の位相変換は、90度となる。90度位相変換ブロックからの変換、ループにおいて既に存在している180度の位相反転に結合したこの位相変換は、共振周波数において完全なループにおける360度の位相変換を与える。ゲインである $A_d$ が正確に選択されれば、ループ及び駆動部材は、機械共振周波数又はその近くで振動することができる。リミッター回路は振動の振幅を制限する。このシステムにおいて熱ノイズの存在のために、振動は開始される。電子機器は、名目上850 Hzの共振周波数で振動するようにRDMを強いる。駆動の品質係数 $Q$ は、5 Torrの操作圧力で5である。TSMの共振周波数は、50の $Q$ で名目上950 Hzである。共振において温度で誘導された変化量への寸法係数の感度を減少するために共振の分離が予定される。この分離は、十分な機械センサー帯域幅を供給するためにも必要とされる。他の操作圧力、共振及び $Q$ は、特定の適用に依存して使用することができる。

#### 【0055】

ジャイロの帯域幅は、回転子と感知部材振動共振間の分離の規模に依存する。ただこのパラメーターを考慮して、RDMとTSM共振間の大きな分離が選択される。この分離は設計においてジャイロの感度性と変換することができる。ジャイロの感度は共振が互いに接近するときに増加する。最高の感度は、共振が等しいときに生じる。好ましいアプローチは、感知部材非共振、即ち、ローター部材から分離された感知部材共振を備えたジャイロを操作することである。このシナリオは、相互に共振がドリフトするときに位相変換の影響を殆ど受けない。

#### 【0056】

ジャイロスコープの設計において、減衰は重要なパラメーターの一つである。通常、ジャイロスコープを製造するために使用される製造過程における減衰のための大きな設計の自由度が存在する。このRDMの現在の設計において、開放多

孔性構造体は、固定板で見られるものに比べてより少ない減衰を提供する。孔サイズの変更は、RDMの減衰の減少又は増加のために仕立てられる。TSMのための、蓄電器感知板の配置及び形状はTSMの減衰を減少又は増加させるために、変更することができる。

#### 【0057】

同じ配置及び形状だが電子機器の異なる組を使用すると、たとえTSMが開ループで操作されても、TSMの動きが駆動しない閉ループでジャイロスコープを操作することが可能である。いくつかのケースでは、追加されたアクチュエーターの組は、この追加の駆動機能を遂行するために有用である。さらに、ジャイロスコープの電子機器内で、ゼロ速度入力を備えたTSM出力へRDMの動きからの結合している求積信号をゼロにするために、TSMに対する駆動信号を提供することに有利である。ゼロへの求積信号の駆動は、ジャイロスコープ温度感度を減少させる。

#### 【0058】

図8で示される回路は、分散型の回路の使用から構成される。切り替え蓄電器技術を使用することで、この回路を集積回路に転換することができる。この発明で与えられたジャイロスコープが、ウェハーレベルで密閉することができるなら、ジャイロスコープ感知要素及び、図8で述べられる回路の機能を実行することができる集積回路を与えることができ、工業的標準であるSOICパッケージで集積することができる。

#### 【0059】

(製造方法)

シリコン・ジャイロスコープのためのより好ましい構成配列は、米国特許第09/231,082号に記載されたマイクロ機械の製造工程に依存しており、その特許は本発明の譲受人に譲渡されると共に、この参考文献に記載されている。その工程は、完全な電氣的絶縁部分を有する片持ちシリコンビームのグリッドからなるシリコン・ジャイロスコープで生じ、その絶縁部分はジャイロスコープの分離部分に機械的には連結するが電氣的には絶縁される。

製造工程は、出願第09/231,082と、図9a乃至9hに詳しく記載さ

れている。

#### 【0060】

ステップ1 (図9 a) : その製造工程は、従来の方法 (9 1) でパターン付けされた誘電体層 (9 2) をもつシリコン・ウエハ (9 3) で始まる。

ステップ2 (図9 b) : ウエハ (9 3) には絶縁溝 (9 4) を作るためにエッチングが施される。

ステップ3 (図9 c) : その溝は誘電体層 (9 6) で満たされる。

ステップ4 (図9 d) : その誘電体層 (9 6) と満たされた溝 (9 5) は、平坦な誘電体表面 (9 7) を作るために完全に電氣的絶縁された誘電体部分で平坦化される。

ステップ5 (図9 e) : 電氣的結合のためのシリコン (9 3) の表面を曝すために誘電体 (9 7) のビア (9 8) がパターン付けされ、エッチングされる。

ステップ6 (図9 f) : 金属層 (9 9) が誘電体層 (9 7) の上に設けられ、そしてシリコン表面 (1 0 0) にビア (9 8) を通じて接点を作る。

ステップ7 (図9 g) : 金属 (9 9) は、好ましくはアルミニウムであり、異なった電極ルート形状を作り出すためにパターン付けされる (1 0 1) 。

ステップ8 (図9 h) : シリコン・ビーム (1 0 2) は、マイクロ機械素子のためのフリー・スタンディングの片持ちビームを作るためにパターン付けされ、エッチングされ、不動態化され、リリースされる。

#### 【0061】

その工程は、ジャイロ스코ープに高性能レベルの機能と動作を許容するいくつかの異なった利点を提供する。高い見地では、一つの結晶シリコン片持ちビームは、従来のマイクロ機械標準によってミリメートル・スケールを超える大きなジャイロ스코ープを形成することを可能にする。これは、ジャイロ스코ープが大きな慣性マスを獲得することを可能にし、その結果、高い感度と高い解像度をもたらす。金属伝導性層はビーム構造体の頂部にのみ存在し、それは、例えばRDM駆動及び検知とTSM検知のために要求される多極構造の接続を供給する。絶縁部分はシリコンビームの中に含まれ、その絶縁部分は寄生静電容量を減らし、ジャイロ스코ープの異なった機能を電氣的に切離す。容量性作動又は検知が要求

される領域において、金属層は蓄電器板として役立つビームシリコン・コアに接触する。絶縁部分がシリコンビームから基板シリコンへの伝導路を遮るので、これは許容される。最終的に、ジャイロスコープの異なる活動部分にアドレスするために互いに交差する電気路を要するエリアにおいて、マルチレベルの伝導路は、伝導金属層の頂部を使うことが可能であり、基礎をなすシリコンへ接触する。このような工程は、ジャイロスコープにおいて要求される機能性のそれぞれを許容し、標準シリコン基板をもって高く製造可能な環境下でそれらを実行する。

#### 【0062】

製造工程の重要な副産物は、マルチレベルの金属被覆の標準交差路機能を実行する電気的接続構造を作り出す能力である。その交差路は、出願第09/231,082号に記述され、ジャイロスコープのデザイン内部で習慣的に行われているように図10に示されている。

#### 【0063】

図10において、ボックス(88)は、単純な開放シリコンビーム(82)及び(86)を含む空洞を表す。信号A(80)は、ビーム(86)の頂部にある平坦な金属層(87)のみを使用する一つのビーム構造体(86)を横切って送られる。信号B(81)は、シリコンビーム(82)それ自身を通る経路を使って、信号A(80)と直角をなして送られる。Bのための電流経路は、ビーム(82)の頂部にある金属(83)の内部を伝わり、接触ビア(84)を通じてシリコンと接続し、2重のシリコンビーム(82)を通じてビア(84)とは反対の向きへ流れ、金属路(83)の外側へ流れる。このように、B電流は下方へ伝わると共にAから絶縁され、それは従来の2つの金属層を必要とすることなく、マルチ・レベルの電流路を作り出す。Bのためのシリコン伝導路がシリコン基板の台から絶縁されるために、電気的絶縁部分(85)はデザイン内部で効果的に配設される。その結果、一つの平坦な金属層及びシリコンビームコアの伝導を使用するマルチ・レベルの互いに連結された構成となる。

#### 【0064】

本発明は、TSM又はRDMのいずれかの移動可能構造体の内側の交差構造体を置くことにより交差の機能性に及ぶ。図14は、該交差の略図を示す。この構

成は、ポイント（１１４）での移動可能構造体の停止位置につながる。交差の目的は、ポイント（１１２）からポイント（１１３）へ垂直に走る信号Ｂを越えて、ポイント（１１０）からポイント（１１１）への信号Ａの道筋を決めることにある。信号Ａの電気通路は、金属トレース（１２１）のポイント（１１０）で始まる。金属トレース（１２１）は、ビームの頂上を走り、信号Ａがシリコン・ビームに入る経路部（１１９）につながる。経路部（１１９）で始まる全てのシリコン電気通路は、絶縁ジョイント（１１５）により囲まれているシリコン連結部から絶縁される。経路部（１１９）での信号Ａは、ビーム（１１８）に沿って経路部（１２０）に進む。経路部（１２０）で信号Ａは、金属トレース（１２２）に入り、移動可能構造体内の他の領域に続くポイント（１１１）に進む。信号Ｂは、金属トレース（１１７）のポイント（１１２）で始まり、ポイント（１１２）から移動可能構造体内の他の領域に続くポイント（１１３）へまっすぐに進む。

#### 【００６５】

絶縁セグメント及び交差の形態は単一結晶・シリコンに限定されず、厚フィルムのポリシリコン、エピタキシャル・シリコン、及び絶縁体上シリコン形状にも適用できる。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図１】

本発明のジャイロスコプの構成部品の単純化した図を示す。

##### 【図２a】

本発明の説明に対応して形成されたシリコン・ジャイロスコプの走査電子顕微鏡の写真を示す。

##### 【図２b】

RDM駆動電極の細部を拡大した、図２aの“２b”ボックスに描かれた領域を示したシリコン・ジャイロスコプの一部の走査電子顕微鏡の写真を示す。

##### 【図２c】

図２aの“２c”ボックスに描かれた領域を示したシリコン・ジャイロスコプの一部の走査電子顕微鏡の写真を僅かに拡大したものである。

**【図 2 d】**

TSMトランスデューサー、RDM駆動及びRDM湾曲の細部を拡大した、90度回転した図2aの“2d”ボックスに描かれた間隔の詰まった領域を示したシリコン・ジャイロスコープの走査電子顕微鏡の写真を示す。

**【図 3】**

本発明のジャイロスコープのRDMねじれ湾曲の実施例の細部を示す。

**【図 4】**

本発明のジャイロスコープのRDM感知電極の実施例の細部を示す。

**【図 5】**

本発明のジャイロスコープのTSM感知蓄電器の実施例の細部を示す。

**【図 6】**

本発明のジャイロスコープのための3つの構成の単純化した図を示す。

**【図 7】**

本発明のジャイロスコープの同調軸の図を示す。

**【図 8】**

本発明のジャイロスコープのための電極の実施例の図表を示す。

**【図 9 a】**

本発明の実施例に対応したシリコン・ジャイロスコープのための製造工程を示す。

**【図 9 b】**

本発明の実施例に対応したシリコン・ジャイロスコープのための製造工程を示す。

**【図 9 c】**

本発明の実施例に対応したシリコン・ジャイロスコープのための製造工程を示す。

**【図 9 d】**

本発明の実施例に対応したシリコン・ジャイロスコープのための製造工程を示す。

**【図 9 e】**

本発明の実施例に対応したシリコン・ジャイロスコープのための製造工程を示す。

【図 9 f】

本発明の実施例に対応したシリコン・ジャイロスコープのための製造工程を示す。

【図 9 g】

本発明の実施例に対応したシリコン・ジャイロスコープのための製造工程を示す。

【図 9 h】

本発明の実施例に対応したシリコン・ジャイロスコープのための製造工程を示す。

【図 1 0】

マルチレベル金属被膜の交差機能を発揮する本発明の構造を示す。

【図 1 1】

単純化したジャイロスコープの図の平面図を示す。回転軸と入力軸もまたこの図に含まれる。

【図 1 2】

ジャイロスコープの断面図を示す。

【図 1 3 a】

従来技術の典型的なジャイロスコープの電気に関する図表を示す。

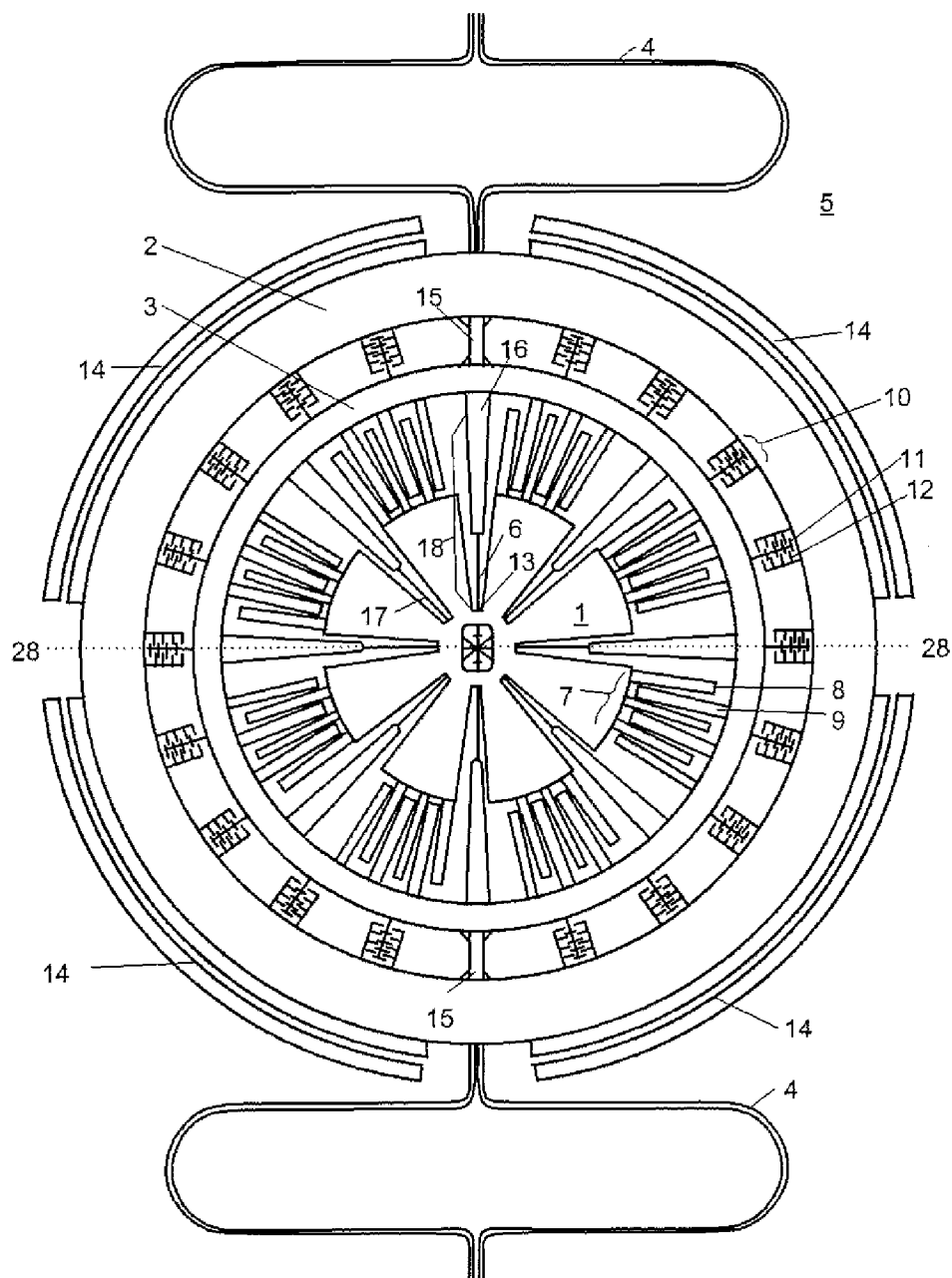
【図 1 3 b】

本発明のジャイロスコープのための電気に関する図表を示す。

【図 1 4】

移動できる交差の図表を示す。

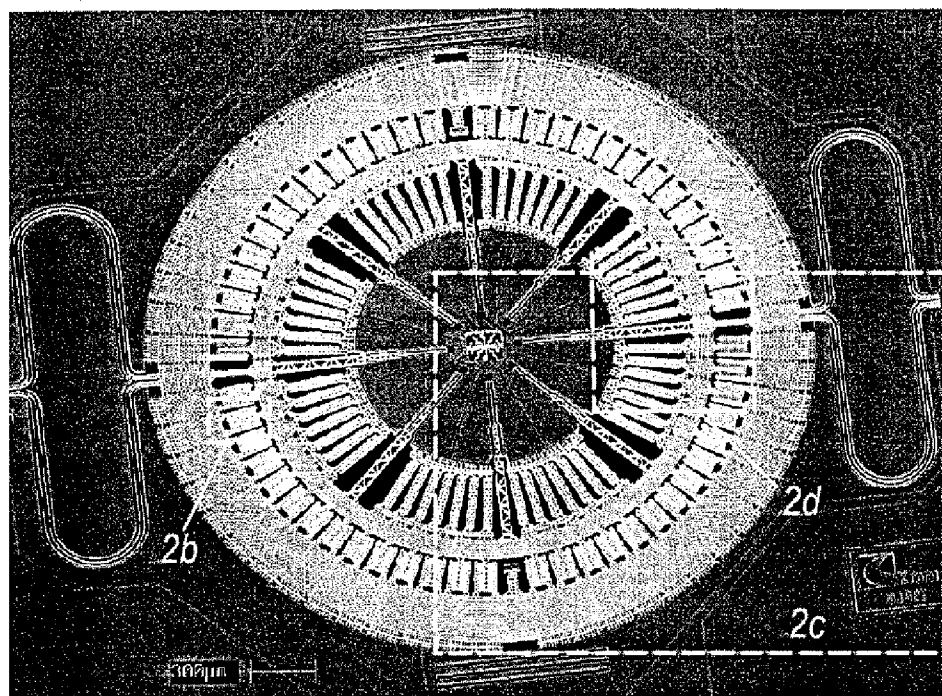
Fig. 1





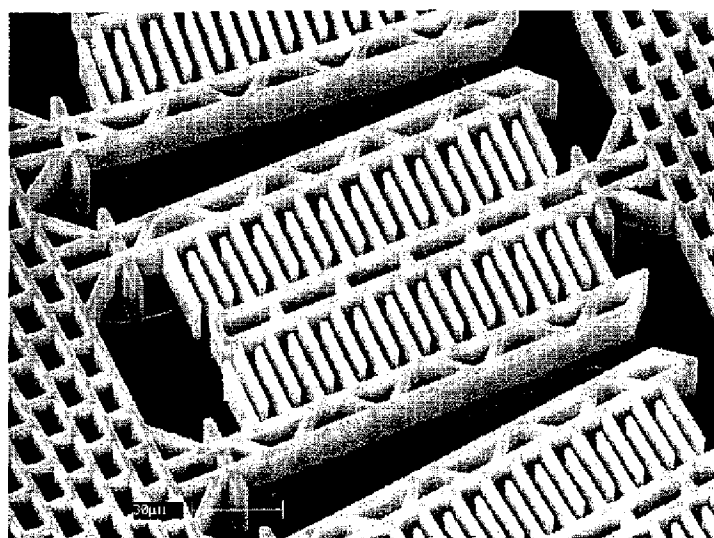
【図 2 a】

Fig. 2a



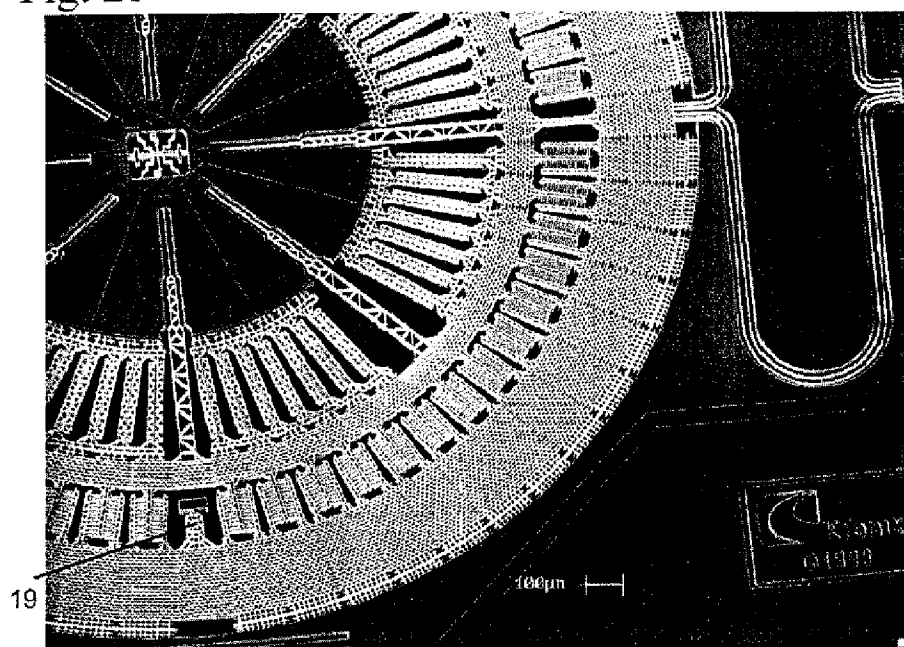
【図 2 b】

Fig. 2b



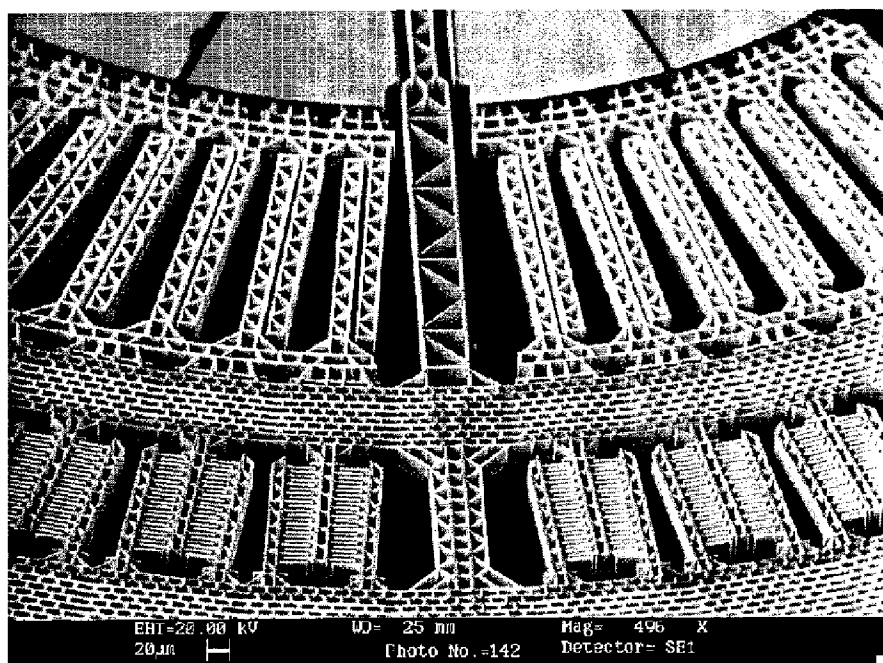
【図 2 c】

Fig. 2c



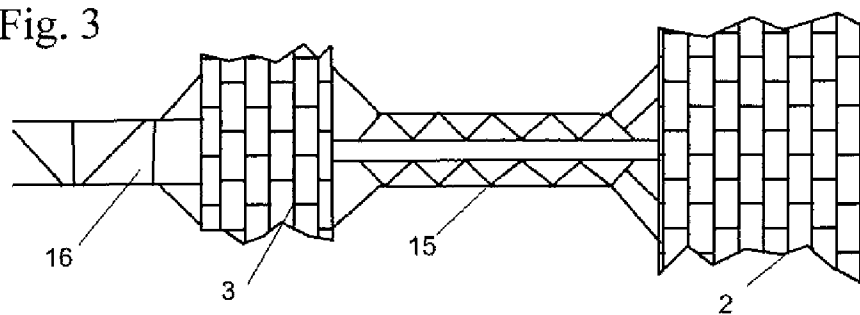
【図 2 d】

Fig. 2d



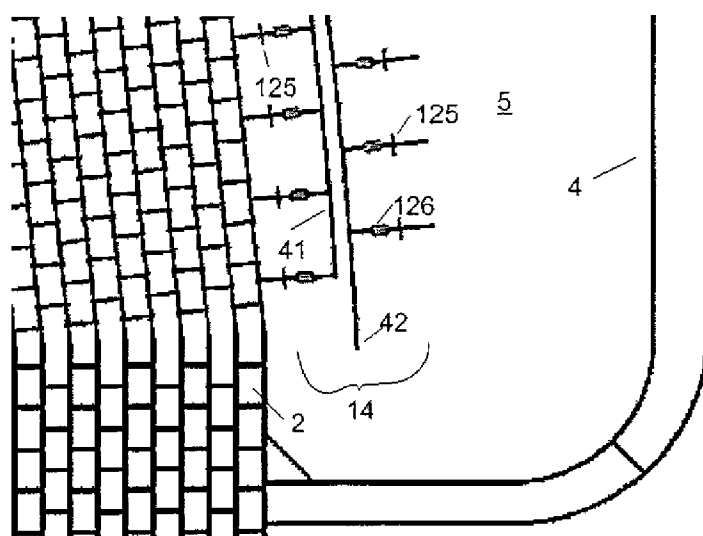
【图 3】

Fig. 3



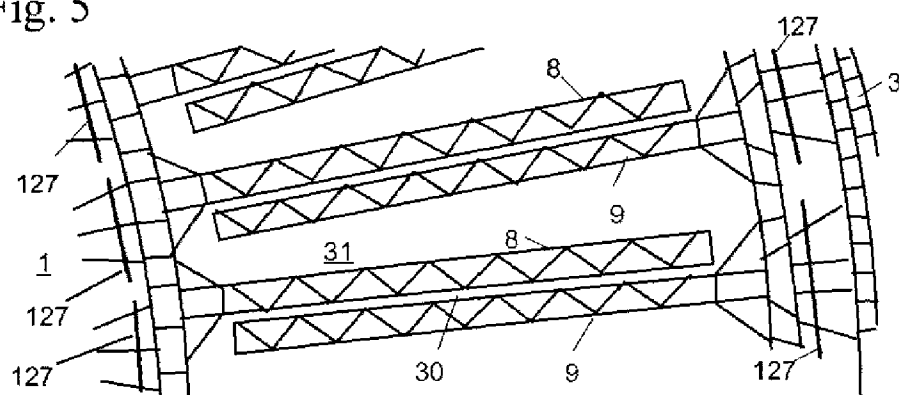
【图 4】

Fig. 4



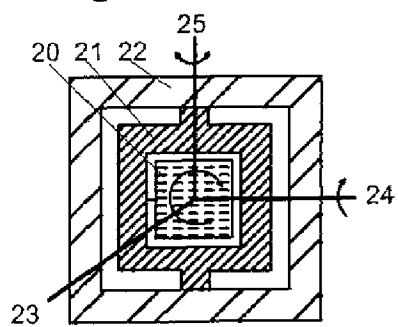
【图 5】

Fig. 5



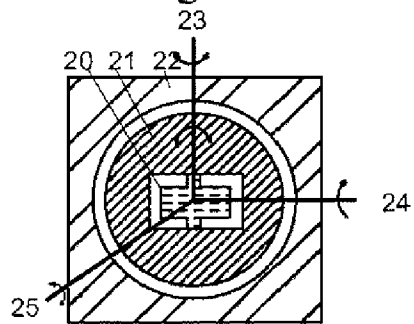
【图 6 a】

Fig. 6a

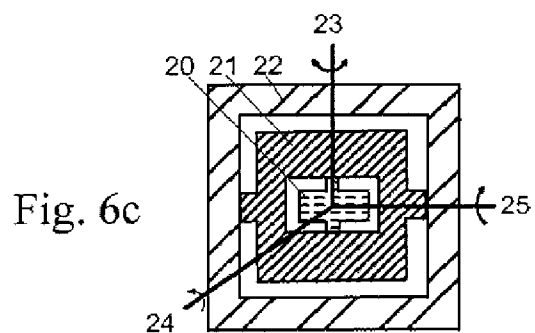


【图 6 b】

Fig. 6b



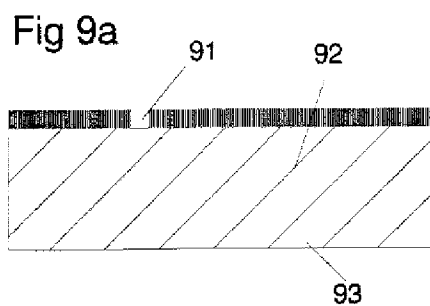
【图 6 c】



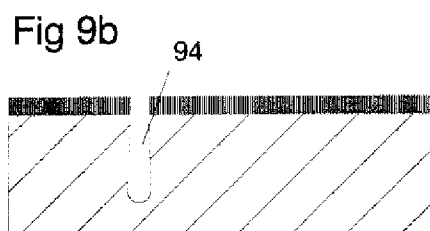




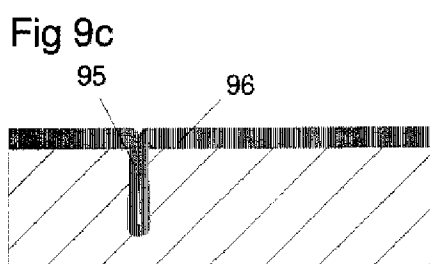
【図 9 a】



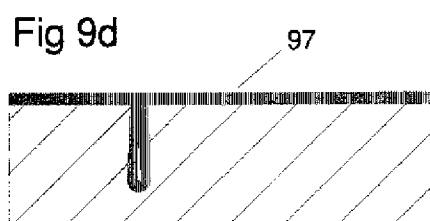
【図 9 b】



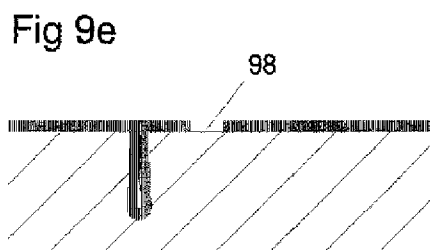
【図 9 c】



【図 9 d】

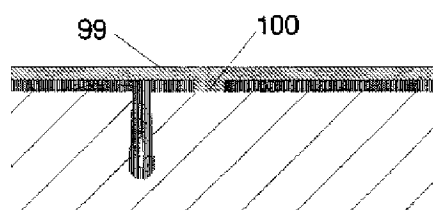


【図 9 e】



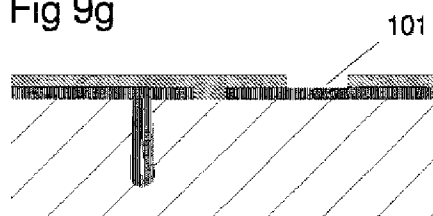
【図 9 f】

Fig 9f



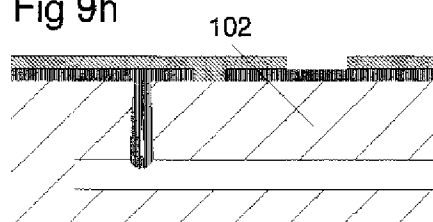
【図 9 g】

Fig 9g



【図 9 h】

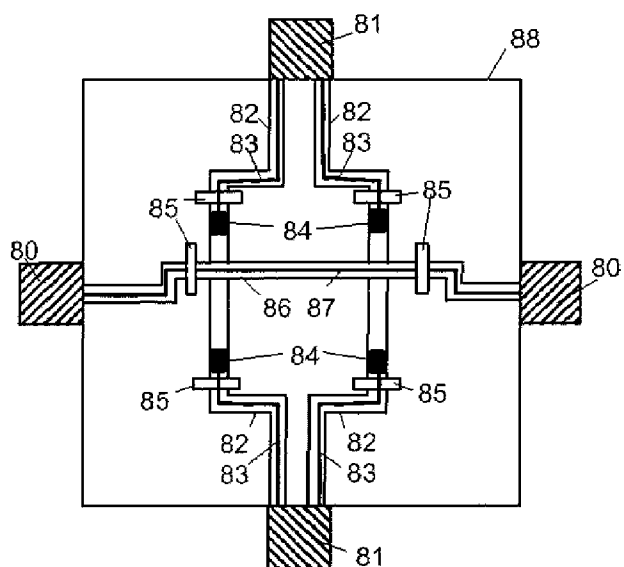
Fig 9h





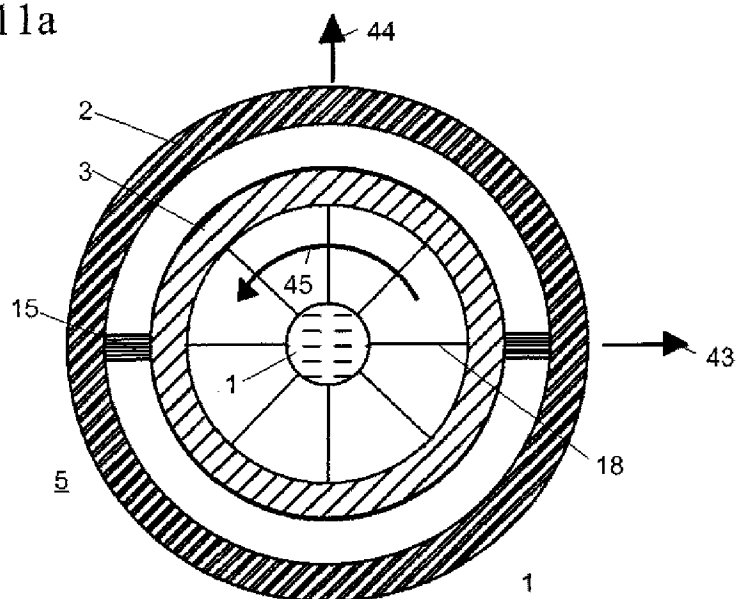
【図10】

Fig. 10



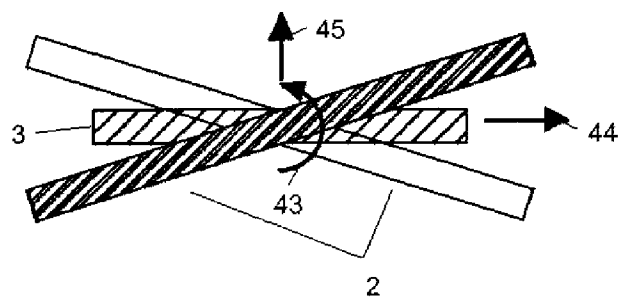
【図11a】

Fig. 11a



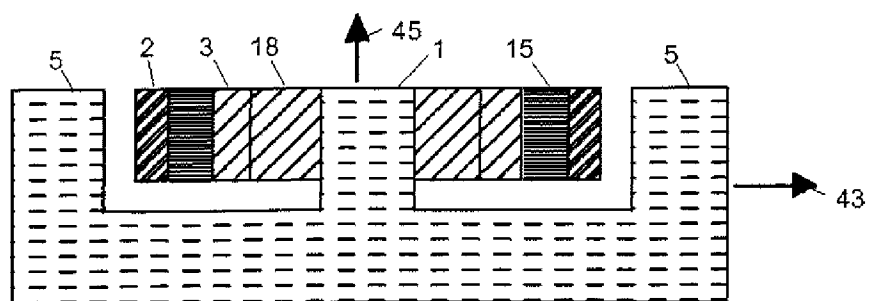
【図11b】

Fig. 11b

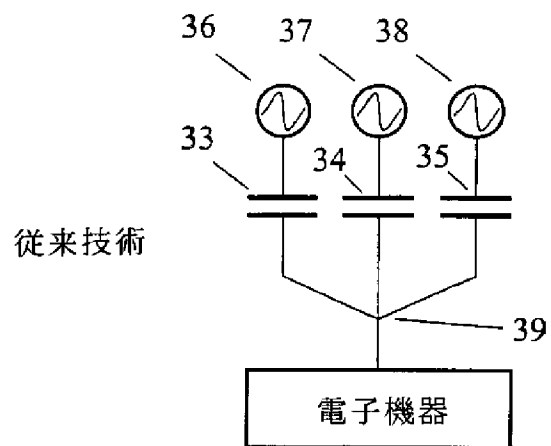


【図12】

Fig. 12



【図13a】



【図 1 3 b】

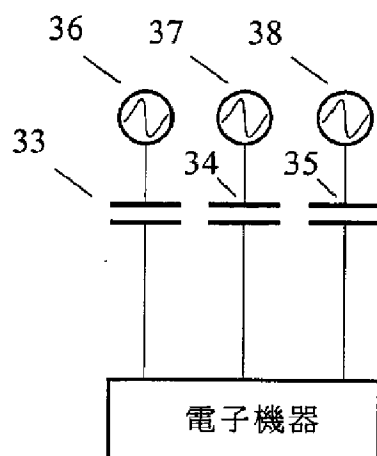
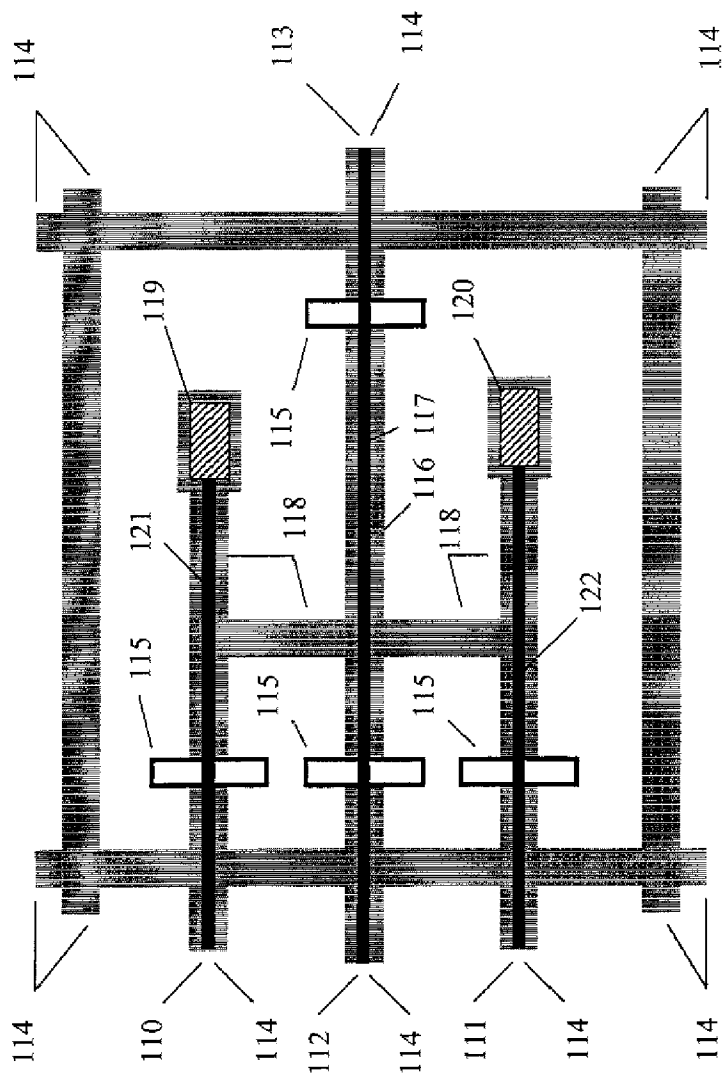


Fig. 14



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/US 00/25029

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G01C19/56 G01P9/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G01C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 915 275 A (CARDARELLI DONATO ET AL) 22 June 1999 (1999-06-22) cited in the application the whole document	1
A	GEIGER W ET AL: "New designs of micromachined vibrating rate gyroscopes with decoupled oscillation modes" SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 66, no. 1-3, 1 April 1998 (1998-04-01), pages 118-124, XP004143979 ISSN: 0924-4247 cited in the application the whole document	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 December 2000

Date of mailing of the international search report

18/12/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2260 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hoekstra, F

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1999)

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/US 00/25029

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5915275 A	22-06-1999	NONE	

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW

(72)発明者 ドナート カードレリー  
アメリカ合州国 マサチューセッツ  
02052 メッドフィールド レッドゲット  
リー・ロード16

(72)発明者 レイモンド キャロル  
アメリカ合州国 マサチューセッツ  
01921 ボックスフォード エー. ローレンス・ロード78

(72)発明者 アール チャールズ ダウワルター  
アメリカ合州国 マサチューセッツ  
02161 ニュートン・ハイランズ ウッド  
ワード・ストリート186

Fターム(参考) 2F105 BB03 BB08 BB13 CC04 CD03  
CD05 CD11 CD13  
4M112 AA04 BA07 CA21 CA22 CA26  
CA32 CA36 DA03 EA03 EA06  
EA11 FA01